

# Abgrenzung von Mängelklassen zur Kennzeichnung von wahrscheinlichen Schadensursachen mit Hilfe messtechnisch erfasster Bestands- und Zustandsmerkmale

FA 9.102

Forschungsstelle: SEP Maerschalk, Ingenieurbüro für Systematische Erhaltungsplanung, München  
 Bearbeiter: Krause, G.  
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn  
 Abschluss: August 1999

Ursachen aber auch zum Zustand und baulichen Bestand enthalten müssen. Diese Daten werden benötigt, wenn neben der zunächst angestrebten Sammlung, Katalogisierung und Kategorisierung von Schadensursachen auch Ansätze für eine Prognose der wahrscheinlichen Ursachen bzw. der von Schäden betroffenen Schichten abgeleitet werden sollen. Die Betrachtungen hinsichtlich der erforderlichen Datenbasis für die Abgrenzung der Mängelklassen und zu den Einflussfaktoren auf den Zustand und Bestand der Straßenbefestigung geben einen Überblick zu den Randbedingungen des Systems.

## 1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Bei der Bewertung der Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen in Pavement-Management-Systemen muss neben dem unmittelbaren Zurücksetzen („Reset“) der Zustandswerte auch die weitere Zustandsentwicklung nach einer Maßnahme betrachtet werden. Das Verhalten von Straßenbefestigungen nach den verschiedenen Erhaltungsmaßnahmentearten hängt in erheblichem Maße davon ab, inwieweit die Schadensursachen behoben bzw. die von Schäden und Mängeln betroffenen Schichten beseitigt werden können. Für eine Bewertung von Maßnahmen ist es daher notwendig, die Schadensursachen und die jeweils betroffenen Befestigungsschichten soweit wie möglich einzugrenzen und zu typisieren. Die Untersuchungsergebnisse stellen einen wichtigen Baustein für die Erhaltungsplanung, z.B. innerhalb eines Pavement-Management-Systems (PMS), zur Verfügung.

Aufbauend auf die vorhandenen Ansätze sollten Aussagen zu den wahrscheinlichen Schadens- bzw. Mängelursachen abgeleitet und in ein hierarchisch strukturiertes System von typisierten Mängelklassen eingeordnet werden. Anders als bei den Schadensanalysen im Labor geht es dabei auch um Schadensursachen, die in Zukunft, innerhalb eines Prognosezeitraums, zu erwarten sind. Für derartige Prognosen müssen die erforderlichen Daten zeitlich fortgeschrieben werden. Aufgrund der damit verbundenen Unsicherheiten können Bezüge zu kausalen Schadensursachen nur bedingt hergestellt werden. Für die Verwendung bei der Erhaltungsplanung ist es ausreichend, wenn die jeweils von Schäden oder Mängeln betroffenen Befestigungsschichten in ihrer Tiefenlage eingegrenzt werden.

Insgesamt sollte ein System in Form eines Entscheidungsbaumes konstruiert werden, das bereits bei relativ undifferenzierten Ausgangsdaten Zuordnungen zu einer globalen Ebene von Mängelklassen erlaubt, in dessen Verzweigungen aber auch die Ergebnisse von differenzierten Schadensanalysen eingebunden werden können. Die in diesem System definierten Mängelklassen müssen Bewertungen der jeweils optimalen Erhaltungsmaßnahmen, aber auch anderer in Betracht kommender Maßnahmevarianten ermöglichen, die je nach Differenzierungsgrad der Mängelklassen, d.h. nach engerer oder weiterer Eingrenzung der Schadensursachen, mehr oder weniger zahlreich sein können.

## 2. Untersuchungsmethodik

Ausgehend von einer umfangreichen Literaturrecherche werden die möglichen Mängelursachen beschrieben und systematisiert. Besonders zu beachten ist dabei, dass die Beschreibungen der praxisrelevanten Schadensfälle Angaben zu den diagnostizierten

Die Methodik sieht, ausgehend von der differenzierten Kennzeichnung von Schadensursachen, schrittweise und systematisch und im Einklang mit der Differenzierung der Ausgangsdaten eine Verdichtung der Mängelklassen vor, so dass drei Aggregierungsebenen entstehen. Besonders zu beachten ist dabei, dass Mängelklassen nicht nur statisch zu sehen sind, sondern dynamisch mit Veränderung der Zustandsausprägungen ebenfalls Veränderungen erfahren können. Derartige zeitliche Übergänge zwischen Mängelklassen werden unter Berücksichtigung der vorliegenden Erfahrungen und Beobachtungen aus der Praxis in das methodische Konzept eingearbeitet.

Die Mängelklassen und deren Abgrenzungskriterien werden abschließend in Algorithmen umgesetzt und einem Praxistest unterzogen. Die Testanwendung erfolgt an ausgewählten Teilnetzen, die über eine ausreichende Datenbasis verfügen. Die Daten der ZEB aus der Messkampagne 1997 an Autobahnen für die Flächenländer werden für einen erweiterten Test aufbereitet und herangezogen.

## 3. Untersuchungsergebnisse

Für die Bildung von Mängelklassen, insbesondere zur Festlegung detaillierter Aussagen, ist es erforderlich, neben den eigentlichen Schäden und Mängeln an der Straßenbefestigung die Ursachen für die vorgefundenen Mängel zu erkennen. Die Ursachen einzelner Mängel an der Straßenbefestigung wurden anhand der Literaturangaben systematisch geordnet, grafisch dargestellt und in einer Literaturlistenauswahl mit den entsprechenden Schadensbeschreibungen auszugsweise zusammengefasst.

Durch eine hierarchische Abstufung bei der Mängelklassenbildung werden sowohl die Fälle mit minimalen Informationen berücksichtigt, als auch Fälle betrachtet, bei denen eine spezielle Schadensursachenanalyse vor Ort vorgenommen wurde. Dabei nimmt der Informationsbedarf, aber auch die Genauigkeit der Klassenbildung, von der ersten zur dritten Ebene zu. Die drei Aggregationsstufen lassen sich charakterisieren als

1. Ebene Minimalkonfiguration: die Mängelklassen werden mit Hilfe der Zustandsdaten nach ZEB (AUN, SPT, NRI, GRI, LQR, EAB, KAS) gebildet. (einfaches Modell)
2. Ebene PMS-konform: auf der Basis der für das PMS mindestens zur Verfügung zu stellenden Aufbau-, Erhaltungs-, Zustands- und Verkehrsdaten werden die Mängelklassen abgegrenzt. (datenorientiertes Modell)

3. Ebene Maximalkonfiguration: Neben den bereits genannten Daten werden die Ergebnisse detaillierter Schadensursachenanalysen (Bohrkerne, Laboruntersuchungen, Tragfähigkeitsmessungen) zur Klassenbildung herangezogen. (detailliertes Modell)

Vor der eigentlichen Mängelklassenbildung werden für jeden Streckenabschnitt die Eingangsdaten getestet und danach einer der drei Hierarchieebenen zugeordnet. Das Ergebnis wird hinterlegt und kann vom Nutzer abgerufen werden. Somit besteht eine Eingriffsmöglichkeit, um fehlende Daten zu beschaffen und zu ergänzen. Der Algorithmus für ein entsprechendes Datenprüfungs- und -eingabemodul wird im Untersuchungsbericht beschrieben.

Für die Ebenen 1 und 2 werden in der Untersuchung die Algorithmen zur Abgrenzung von Mängelklassen erarbeitet. Eine Automatisierung der Mängelklassenbildung mit Hilfe des detail-

lierten Modells erscheint nicht realistisch, da die Vielzahl möglicher Sonderfälle nur unzureichend in einem Algorithmus abgebildet werden kann. Die Mängelklassenbildung erfolgt hier durch eine manuelle Zuordnung der Angaben in Schadensprotokollen und von Zustandsbildern, die bei einem Vor-Ort-Gutachten erhoben werden können.

Die Mängelklassen für das einfache und das datenorientierte Mängelklassenmodell sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Abgrenzungskriterien und eine detaillierte Beschreibung der Mängelklassen sind für alle Modelle (Ebenen) im Ergebnis der Untersuchung formuliert.

Die Mängelklassen für das detaillierte Mängelklassenmodell werden gegliedert nach den betroffenen Befestigungsschichten beschrieben, wobei die grundlegenden Abgrenzungskriterien angegeben sind. Welche zusätzlichen Informationen für die detaillierte Abgrenzung erforderlich sind, ist für die jeweilige Mängelklasse festgelegt und durch eine Auflistung der hierfür notwendigen Analysen ergänzt.

Tab. 1: Zusammenstellung der Mängelklassen für einfaches und datenorientiertes Modell

Ebene 1 einfaches Modell	Ebene 2 datenorientiertes Modell	
GRO	GRO	Griffigkeitsmängel ohne weitere Schäden (Oberfläche)
GRD	GRS	Griffigkeitsmängel und Spurrinnen
	GRD	Griffigkeitsmängel und (mittelmäßige) Deckenschäden
	GRB	Griffigkeitsmängel und Betondeckenschäden
OFS	ODF	Oberflächenschaden, Indikator Flickstellen
	ODR	Oberflächenschäden, Indikator Risse
OFB	OFB	Oberflächenschäden an Betondecken (Längs-/Querrisse)
SVS	SBS	Schubverformungen (Binderschicht), Spurrinnen
	STS	Schubverformungen (Binderschicht und Tragschicht)
EBO	EBO	Ebenheitsmängel an Betondecken (ohne Risse), Plattenversatz / Pumpen
EBR	EBR	Ebenheitsmängel an Betondecken (mittelmäßige Risse), Deckenschäden / Tragfähigkeit
	EAK	Eckabbrüche und Kantenschäden an Betondecken
TGS	TGS	Tragfähigkeit gebundene Schichten, Spurrinnen (Asphalt)
	TMS	Tragfähigkeit gebundene Schichten, Spurrinnen (Makadam)
TGE	TGE	Tragfähigkeit gebundene Schichten, Ebenheit (Asphalt)
	TME	Tragfähigkeit gebundene Schichten, Ebenheit (Makadam)
	RGR	Reflexionsrisse durch zementgebundene Schichten
TGB	TGB	Tragfähigkeit gebundene Schichten (bzw. Decke und Tragschicht) bei Betonbefestigungen
NSU	NOE	Nachverdichtung / Setzungen im Oberbau, Ebenheit
	NOS	Nachverdichtung / Setzungen im Oberbau, Spurrinnen
	NUE	Nachverdichtung / Setzungen im Unterbau / Untergrund
	FOE	Frostschäden, gesamter Oberbau, Frostgefährdung
UOT	UUE	Tragfähigkeit Unterbau/Untergrund/Gesamtbefestigung, Indikator Ebenheit
	UUS	Tragfähigkeit Unterbau/Untergrund/Gesamtbefestigung, Indikator Spurrinnen
	EUE	Entwässerungsmängel, ungebundene Schichten / Unterbau
UOB	UOB	Tragfähigkeit ungeb. Schichten / gesamter Oberbau, Beton

Nach der Festlegung der Schadensursache mit Hilfe der Mängelklassen kann den betroffenen Befestigungsschichten eine Auswahl von in Frage kommenden Maßnahmen zugeordnet werden. Diese müssen in erster Linie technologisch geeignet sein, das Zustandsniveau der Merkmale anzuheben und die nachgewiesenen oder zu erwartenden Mängel und Schäden zu beheben. Um die Eignung einer Maßnahme abschätzen zu können, müssen sowohl deren Sofortwirkung auf die Zustandswerte (Rücksetzwerte) als auch die Langzeitwirkung, d.h. die Verhaltensfunktionen der Zustandsmerkmale für die Befestigung nach einer ausgeführten Maßnahme, bekannt oder zumindest näherungsweise anhand der Verhaltensfunktion vor der Maßnahme und der vorhandenen Mängelklasse bestimmbar sein.

Die unmittelbaren Wirkungen der Maßnahmen auf die Beschaffenheit der Befestigung beziehen sich auf die Fahrbahnoberfläche und somit auf die Zustandswerte nach der Maßnahme und werden für die berücksichtigten Zustandsmerkmale in den Untersuchungsergebnissen dargestellt. Diese Wirkungen sind vor allem abhängig vom Zustand vor der Maßnahme.

Die vorhandene Mängelklasse übt insofern nur einen indirekten Einfluss auf die Rücksetzwerte aus. Sie ist jedoch ausschlaggebend für das Verhalten nach einer Maßnahme, das davon bestimmt wird, inwieweit die Schadensursache durch die angestrebte Erhaltungsmaßnahme zu beseitigen ist. Aus dem daraus abgeleiteten Verlauf der Verhaltensfunktion ergibt sich, wann die nächstfolgende Maßnahme fällig wird und welche Erhaltungskosten demzufolge mittel- oder langfristig anfallen. Die Untersuchung beinhaltet Festlegungen zu den Verhaltensänderungen nach der Anwendung der verschiedenen Maßnahmen.

Da die Entwicklung des Zustandes wesentlichen Einfluss auf die zukünftig zu erwartende Mängelklasse hat, wurde ein Verfahren entwickelt, welches das Verhalten der erforderlichen Zustandsmerkmale für jeden betrachteten Abschnitt individuell ermittelt. In der Untersuchung wird die Methodik zur Ermittlung der individuellen Verhaltensfunktion mit Hilfe von Verhaltensklassen beschrieben. Charakteristische Funktionsverläufe für die einzelnen Zustandsmerkmale sind grafisch dargestellt.

Da die Mängelklassen in Pavement-Management-Systemen für die Auswahl möglicher zukünftiger Erhaltungsmaßnahmen genutzt werden sollen, wird eine zeitlich-dynamische Betrachtung der Übergänge von einer Mängelklasse in eine andere im Verlauf der Nutzung der Straße vorgenommen. An ausgewählten Beispielen wird die Folgerichtigkeit derartiger Entwicklungen an Strecken ohne Erhaltungsmaßnahme geprüft.

Die Überprüfung der Mängelklassenbildung erfolgte zunächst auf der Basis der in der Literaturrecherche festgestellten Abgrenzungskriterien. In Zusammenarbeit mit ausgewählten

Straßenbauverwaltungen wurde das Modell sukzessive modifiziert. Für die abschließende Testanwendung des datenorientierten Modells wurden die Autobahnen A 92 und A 99 mit ca. 330 km Richtungsfahrbahnen sowie die Bundesstraßen des ASV Frankfurt mit ca. 207 km Strecke herangezogen. Dabei wurden nur Abschnitte berücksichtigt, an denen die erforderlichen Daten vollständig vorlagen. Ein zusätzlicher Test für das einfache Mängelklassenmodell wurde mit den Ergebnissen der ZEB 1997 für einen Streckenbestand von 24.675 Fahrstreifenkilometern, davon 17.941 km in Asphaltbauweise und 6.734 km in Betonbauweise, durchgeführt. Die Testläufe für beide Modelle ergaben eine aufgrund der Verteilung der Zustandswerte durchaus logische Verteilung der Mängelklassen.

#### 4. Folgerungen

Die Eingrenzung und Typisierung von möglichen Schadensursachen durch Mängelklassen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmearten, und zwar sowohl generell als auch speziell im Ablauf eines PMS.

Die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Schadensursachen und der daraus abgeleiteten Mängelklassen sowie zu Rücksetzwerten für die relevanten Zustandswerte und die Methodik zur Beschreibung des Befestigungsverhaltens in Abhängigkeit von Alter, gemessenen Zustandswerten und ermittelter Mängelklasse bilden eine Grundlage für praxisorientierte Modelle von Erhaltungsstrategien bei der Erhaltungsplanung.

Die Grundlagen zur automatischen Abgrenzung von Mängelklassen wurden als Baustein für das PMS entwickelt. Sie erlauben eine Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit von den vorhandenen Rahmenbedingungen (Zustandskonstellation, Aufbau, Frostgefährdung usw.), ersetzen jedoch nicht gängige Methoden zur Bewertung der Straßenbefestigung. Das Verfahren berücksichtigt das unterschiedliche Informationsniveau für die Strecken eines Analysenetzes durch den modularen Aufbau.

Schadensanalysen in Form von Bohrkernentnahmen, Laboruntersuchungen oder Tragfähigkeitsmessungen sind nicht für jeden Abschnitt möglich und vertretbar, daher können mit den entwickelten Abgrenzungskriterien im Rahmen des PMS auch zukünftig zu erwartende Mängelklassen annähernd prognostiziert werden.

Für die Anwendung der dargestellten Methodik und deren Weiterentwicklung ist eine turnusmäßige Zustandserfassung ebenso wichtig wie die Verbesserung der Bestandserfassung und eine entsprechende Dokumentation. Durchgeführte Schadensanalysen sollten ebenfalls dokumentiert werden, um zukünftig eine bessere Abschätzung von verallgemeinerungsfähigen Schadensbildern zu erreichen. □